

Дата **15.02.2023.** Группа ХКМ 2/1. Курс 2

Дисциплина: Электротехника и основы электроники

Специальность: 15.02.06 «Монтаж и техническая эксплуатация холодильно-компрессорных машин и установок (по отраслям)»

Тема занятия: Электрические цепи переменного тока

Цель занятия:

- *методическая* - совершенствование методики проведения лекционного занятия;

- *учебная* – знать основные свойства цепей переменного тока;

- *воспитательная* – обучать учащихся соотносить полученные знания с наблюдаемыми явлениями.

Вид занятия: Лекция

Межпредметные связи:

Обеспечивающие: Техническая механика, Физика

Обеспечиваемые: курсовое и дипломное проектирование

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1. П.А.Бутырин, О.В.Толчеев, Ф.Н.Шакирзянов. Электротехника: учебник для нач. проф. Образования /- 7-е изд., испр.-М.: Издательский центр «Академия», 2015.-272 с.

2.Б.И.Петленко. Электротехника и электроника. М. : «Академия», 2014.-319 с.

3. В.И.Полещук. Задачник по электротехнике и электронике. М. М.Издательский центр«Академия», 2014 г 335.с. .

Дополнительная литература:

1. А.С.Касаткин., М.В.Немцов. Электротехника.М. : Издательский центр «Академия», 2014 г.

2.Прошин В.М. Лабораторно-практические работы по электротехнике. (2-е-изд., стер.) Уч.пос.НПО. «Академия», 2013-2010.

Тема: Электрические цепи переменного тока

1. Общая характеристика цепей переменного тока
2. Основные параметры переменного тока
3. Электрическая цепь: с активным сопротивлением, с катушкой индуктивности, с емкостью.

1. Общая характеристика цепей переменного тока

Переменным называется ток, который изменяется в течение времени по величине или направлению. Переменный ток получил преимущественное распространение в промышленности, что связано с его преимуществами перед постоянным током:

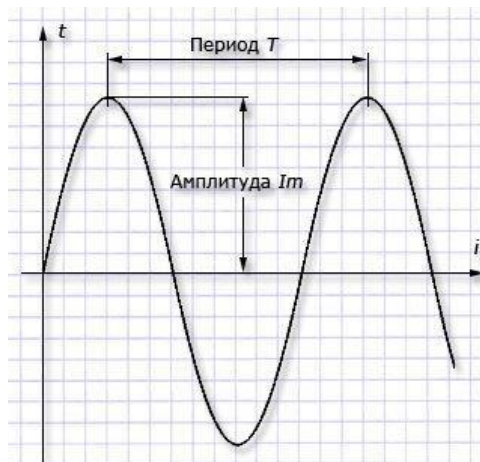
- легко повышается и понижается напряжение с помощью трансформаторов;
- генераторы и двигатели переменного тока проще по устройству, в эксплуатации, надежнее и дешевле;
- переменный ток удобнее вырабатывать на электростанциях;
- многие физические явления проявляются только при переменном токе.

В электрических цепях переменного тока наиболее часто используют синусоидальную форму, характеризующуюся тем, что все токи и напряжения являются синусоидальными функциями времени. Синусоидальная форма тока и напряжения позволяет производить точный расчет электрических цепей с использованием метода комплексных чисел и приближенный расчет на основе метода векторных диаграмм.

Недостатки: в цепях питания потребителей таким током могут происходить перегрузки, вызванные реактивной мощностью потребителей (когда в цепи питания присутствуют индуктивности или емкости); переменный ток приводит к образованию переменных электромагнитных полей, воздействующих на работу различной радиоаппаратуры и др.

Основные параметры переменного тока.

Для его описания используют следующие параметры



— *Период (T)* — длительность времени в течение которого электрический ток совершает один полный цикл изменений, возвращаясь к своей начальной величине;

— *Частота (f)* — параметр, определяющий количество полных колебаний электрического тока за одну секунду, единица измерения — 1 Герц (Гц). Так, напр. стандарт частоты тока, принятый в отечественных энергосистемах составляет 50 Гц или 50 колебаний в секунду.

— *Амплитуда тока (I_m)* — максимальное достигаемое мгновенное значение величины тока за период, как видно из представленного графика — высота синусоиды;

— *Фаза* — состояние переменного синусоидального электрического тока: мгновенное значение, изменение направления, возрастание (убывание) в цепи. Переменный ток может быть как однофазным, так и многофазным.

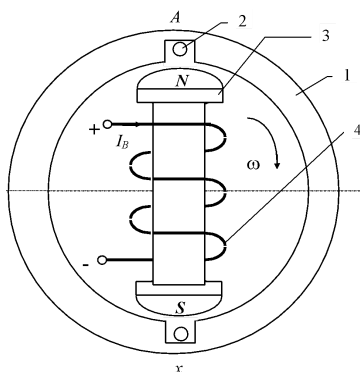
Наибольшее распространение получили трехфазные системы, представляющие собой три отдельных эл. цепей с одинаковой частотой и ЭДС, с углом сдвига $\varphi=120^\circ$. Более подробно с понятием можно ознакомиться в статье Принцип создания трехфазной цепи переменного тока.

Применение переменного тока. В основном переменный электрический ток используют для передачи энергии по линиям электропередачи (ЛЭП) на дальние расстояния. Предпочтение переменному току объясняется тем, что тепловые потери при его передаче значительно меньше, чем при передаче постоянного тока. Поэтому производители электроэнергии (ГЭС, ТЭС, ТЭЦ, атомные и другие электростанции) генерируют переменный гармонический ток. Его частота стандартизирована. В разных странах она принимает различные значения. Например, в Российской Федерации $f=50\text{Гц}$, в США и Канаде $f=60\text{Гц}$.

Промышленный переменный электрический ток получают при помощи электрических генераторов, принцип работы которых основан на законе электромагнитной индукции. Вращение генератора осуществляется механическим двигателем, использующим тепловую, гидравлическую или атомную энергию.

2. Основные параметры переменного тока

Получение переменного тока

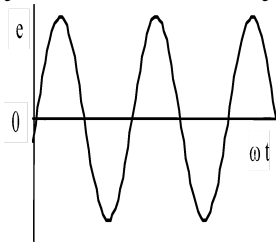


Переменный ток получают при помощи синхронных генераторов.

Синхронный генератор состоит из статора 1, обмотки статора 2 (А-х), ротора 3 и обмотки возбуждения 4.

Ротор выполнен в виде постоянного магнита или электромагнита с полюсами N и S . Магнитное поле ротора возбуждается обмоткой возбуждения, по которой

протекает постоянный ток возбуждения I_B . Ротор принудительно приводится во вращение с частотой ω от постороннего двигателя. (Т.е. к ротору подводится механическая энергия). При вращении магнитное поле ротора пересекает обмотку статора и в соответствии с законом электромагнитной индукции в ней индуцируется ЭДС:



$$e = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha ,$$

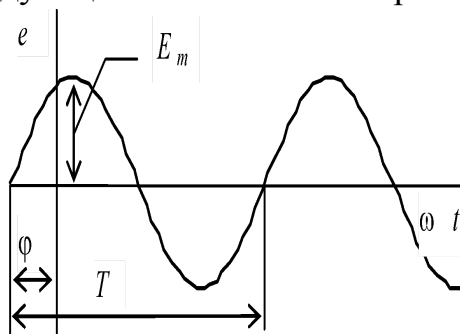
где B - индукция магнитного поля полюсов ротора;

l - длина активной части обмотки статора A -х;

v - линейная скорость пересечения магнитным полем обмотки статора.

Форма изменения ЭДС обмотки статора синусоидальна

Синусоидально изменяющиеся величины характеризуются следующими основными параметрами:



– период T , [с] - время совершения одного полного колебания синусоидальной величины;

– частота f , [с⁻¹]=[Гц] - количество периодов, укладывающихся в единицу времени:

$$f = \frac{1}{T} .$$

В нашей стране **частота тока в сети $f=50$ Гц** (достигается вращением роторов в генераторах с частотой вращения $n_{вр}=3000$ мин⁻¹ (об/мин));

– угловая (циклическая) частота изменения тока:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f , \text{ рад/с}$$

Для нашей сети $\omega=314$ рад/с;

– амплитуда I_m , E_m , U_m - наибольшее значение синусоидальной величины. Амплитудные значения синусоидальных функций являются

постоянными величинами, т.е. от времени они не зависят.

– мгновенные значения синусоидальных функций обозначают маленькими буквами: i , e , u . Они являются функциями времени. Зависимость их от времени выражается соотношениями:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$e = E_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_e)$$

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_u)$$

– *фаза* - аргумент синусоидальной функции $(\omega t + \phi)$ - показывает, какое значение имеет синусоидальная функция в данный момент времени;

– *начальная фаза ϕ* - показывает, какое значение имеет синусоидальная функция в момент начала отсчета, т.е. при $t=0$;

Действующее значение переменного тока

Действующим значением I переменного тока называют такое значение постоянного I , который, протекая по сопротивлению R , за время, равное одному периоду T изменения тока, выделяет в нем такое же количество теплоты Q , что и переменный ток i . Поясним определение на примере:



$$Q = I^2 \cdot R \cdot T = \int_0^T i^2 \cdot R \cdot dt$$

где $i = I_m \cdot \sin \omega t$

После подстановки значения тока i и последующих преобразований получим, что действующее значение переменного тока равно:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Аналогичные соотношения могут быть получены также для напряжения и ЭДС:

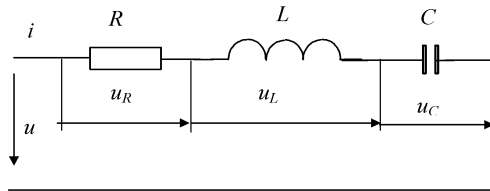
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

Большинство электроизмерительных приборов измеряют не мгновенные, а действующие значения токов и напряжений.

Учитывая, например, что действующее значение напряжения в нашей сети составляет 220В, можно определить амплитудное значение напряжения в сети: $U_m = U\sqrt{2} = 311\text{В}$. Соотношение между действующим и амплитудным значениями напряжений и токов важно учитывать, например, при проектировании устройств с применением полупроводниковых элементов.

3. Электрическая цепь: с активным сопротивлением, с катушкой индуктивности, с емкостью

Переменный ток в цепи с последовательным соединением элементов R, L, C



Предположим, что имеется цепь, содержащая резистор R , катушку с индуктивностью L и конденсатор с емкостью C . Подведем к зажимам цепи переменное напряжение u . По цепи потечет переменный ток i . На отдельных участках цепи возникнут падения напряжений, для которых в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно записать:

$$u = u_R + u_L + u_C$$

Определим, какую форму изменения будут иметь падения напряжений на участках цепи, если ток изменяется по закону:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t$$

Падения напряжений на участках цепи определяются из соотношений известных из курса физики:

$$u_R = i \cdot R, \quad u_L = L \cdot \frac{di}{dt}, \quad u_C = \frac{1}{C} \cdot \int i \cdot dt \quad (i = C \frac{du_C}{dt}).$$

После подстановки в исходные уравнения значения тока i получим:

$$u_R = RI_m \sin \omega t;$$

$$u_L = \omega LI_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2});$$

$$u_C = \frac{1}{\omega C} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2});$$

Проанализируем полученные уравнения. Величины $U_{Rm} = RI_m$, $U_{Lm} = \omega LI_m$ и $U_{Cm} = \frac{1}{\omega C} I_m$ имеют размерность [В] и представляют собой соответственно амплитудные значения напряжений резисторе, катушке индуктивности и конденсаторе.

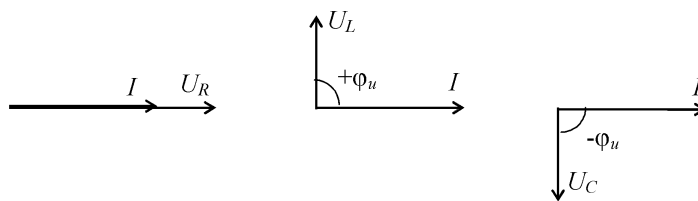
Величины R , $x_L = \omega L$ и $x_C = \frac{1}{\omega C}$ имеют размерность [Ом] и называются соответственно: R - активное сопротивление, x_L - реактивное индуктивное сопротивление, x_C - реактивное емкостное сопротивление.

Активное сопротивление R не зависит от частоты тока, а реактивные сопротивления x_L и x_C являются функцией частоты тока $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$.

Сравнение фаз тока и напряжений позволяет сделать следующие выводы:

- в цепи с активным сопротивлением ток и напряжение совпадают по фазе $\phi=0$;
- в цепи с индуктивностью ток отстает от напряжения на угол 90° ;
- в цепи с емкостью ток опережает напряжение на 90° .

Для соответствующих участков электрической цепи векторные диаграммы токов и напряжений будут выглядеть следующим образом.



Треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей

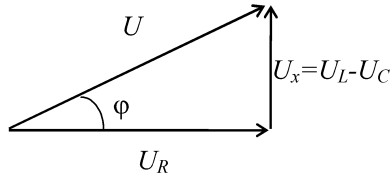
На векторных диаграммах можно выделить прямоугольный треугольник напряжений.

В зависимости от соотношения x_L и x_C возможны три режима работы цепи:

- а) напряжение цепи опережает ток по фазе на угол ϕ и цепь в целом имеет активно-индуктивный характер;
- б) напряжение цепи отстает по фазе от тока на угол ϕ и цепь в целом имеет активно-емкостный характер;
- в) напряжение и ток совпадают по фазе, характер цепи в целом чисто

активный. Такой режим цепи называется *резонансом напряжений*, при котором $U_L = U_C$, $x_L = x_C$. Настроить цепь в резонанс напряжений можно путем изменения x_L или x_C , т.е. изменяя C , L или f (частота, при которой наступает резонанс $f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$). При резонансе напряжений сопротивление цепи минимально, а ток максимальный.

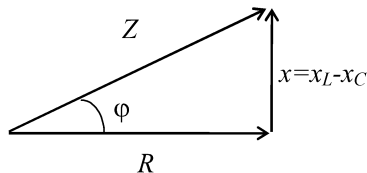
Цепи электроснабжения в строительной отрасли чаще всего имеют активно-индуктивный характер, поэтому далее рассмотрим соответствующие треугольники с положительным углом ϕ .



По теореме Пифагора можно установить связь между *полным* напряжением цепи и напряжениями на ее отдельных участках:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

Если разделить стороны треугольника напряжений на ток (в цепи с последовательным соединением элементов ток одинаков во всех участках), то (в соответствии с законом Ома) получим треугольник сопротивлений.

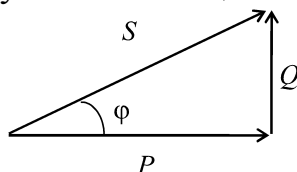


Здесь $x = x_L - x_C$ - реактивное сопротивление цепи, а Z - *полное* сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}.$$

Полученное уравнение устанавливает связь между различными сопротивлениями цепи.

Если умножить стороны треугольника напряжений на ток, то получим треугольник мощностей:



Здесь $P=U_R I$ - **активная мощность**, которая выделяется на активных сопротивлениях цепи. Она связана с необратимыми преобразованиями электрической энергии, то есть с совершением работы (полезной) в электроустановке. Активная мощность измеряется в *ваттах* [Вт].

$Q=U_x I$ - **реактивная мощность**. Связана в электроустановках с совершением обратимых преобразований энергии, полезной работы она не совершает. В электроустановках затрачивается на создание электрических (C) и магнитных (L) полей. Реактивная мощность измеряется *вольт амперах реактивных* [вар].

Реактивная мощность оказывает существенное влияние на режим работы электрической цепи. Циркулируя по проводам трансформаторов, генераторов, двигателей, линий электропередач, она нагревает их. Поэтому расчет проводов и других элементов устройств переменного тока производят из **полной мощности**, которая учитывает активную и реактивную мощности.

$S=UI$ - **полная мощность**, измеряется в *вольт амперах* [В·А]. Из треугольника мощностей определим:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Коэффициент мощности

Из треугольника мощностей можно записать:

$$P = S \cos \varphi = UI \cos \varphi,$$

откуда

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}.$$

Множитель $\cos \varphi$ - называется **коэффициентом мощности**. Коэффициент мощности это отношение активной мощности к полной. Он показывает, какая часть от полной мощности потребленной электроустановкой из сети затрачивается на совершение полезной работы. Очевидно, чем выше коэффициент мощности, тем эффективнее преобразование энергии в электроустановке. Наилучшее значение $\cos \varphi=1$, в этом случае вся потребленная из сети энергия затрачивается на совершение полезной работы.

И приведенных соотношений можно выразить ток, потребляемый электроустановкой из сети:

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}.$$

Из выражения следует, что чем ниже $\cos \varphi$, тем больший ток потребляет она из сети на совершение той же самой работы. На практике пропускная способность линий электропередач (ЛЭП) ограничена, поэтому снижение $\cos \varphi$ электроприемников ведет к повышенной загрузке их током, и еще больше ограничивает их пропускную способность.

При снижении $\cos \varphi$ повышаются потери энергии ΔP в ЛЭП, что

следует из выражения:

$$\Delta P = I^2 R = R \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi},$$

здесь R - активное сопротивление ЛЭП. Увеличение потерь энергии ведет к возрастанию стоимости ее транспортировки.

Таким образом, задача повышения $\cos\varphi$ является важной народно-хозяйственной проблемой.

Повысить $\cos\varphi$ можно, уменьшив (желательно до нуля) потребляемую из сети реактивную мощность. Так как низкий $\cos\varphi$ имеют электродвигатели, трансформаторы и т.п. электроустановки, работающие на холостом ходу или с недогрузкой, то для повышения $\cos\varphi$ необходимо обеспечить полную загрузку этих электроустановок и своевременное их отключение. Указанные мероприятия называют организационными.

Для повышения $\cos\varphi$ применяют синхронные компенсаторы и конденсаторные батареи. Эти устройства способны вырабатывать реактивную энергию необходимую потребителям.

Контрольные вопросы:

1. Какой ток называется переменным?
2. Чему равна частота тока в сети?
3. Начертить цепь с индуктивным и емкостным сопротивлениями

Задание для самостоятельной работы:

1. Краткий конспект лекции
2. Письменно ответить на контрольные вопросы
3. Фотографию прислать в личном сообщении ВК

<https://vk.com/id139705283>

На фотографии вверху должна быть фамилия, дата выдачи задания, группа, дисциплина. Например: «Иванов И.И, 15.02.2023., группа ХКМ 2/1 «Электротехника и основы электроники»